Algoritmi numerici pentru analiza circuitelor electrice rezistive neliniare

Prof.dr.ing. Gabriela Ciuprina

Universitatea "Politehnica" Bucureşti, Facultatea de Inginerie Electrică,
Departamentul de Electrotehnică

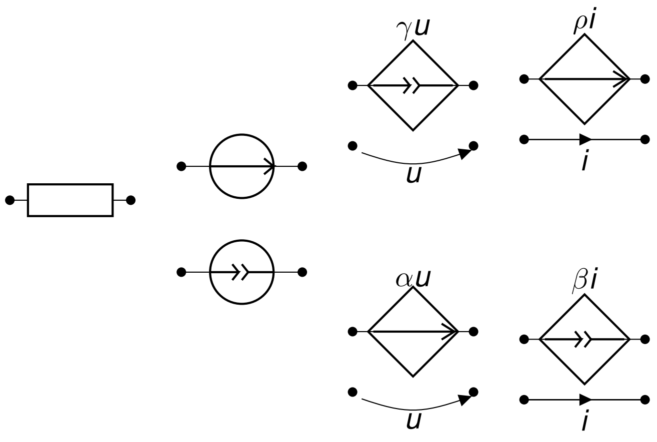
Suport didactic pentru disciplina *Metode numerice*,
Facultatea de Inginerie Electrică, 2017-2018

Notes

Cuprins

Notes

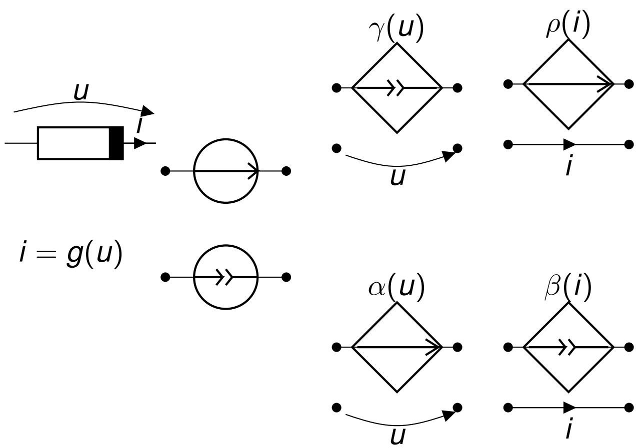
Elemente ideale - rezistive, liniare



Liniare

Notes

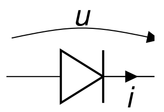
Elemente ideale - rezistive, neliniare



Neliniare

Notes

Elemente reale - rezistive, neliniare



$i = g(u)$

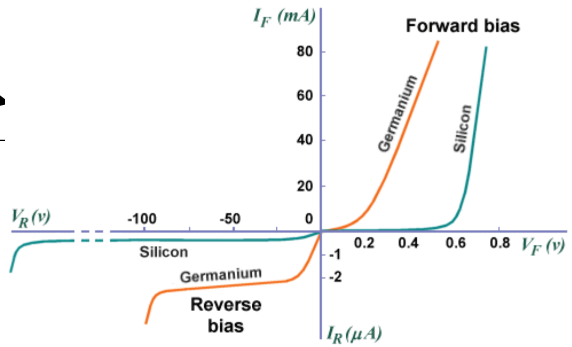
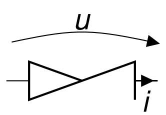


Figura este preluată de la

https://www.technologyuk.net/physics/

Notes

Elemente reale - rezistive, neliniare



$i = g(u)$

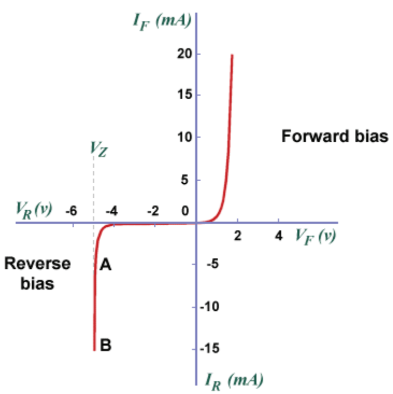


Figura este preluată de la

https://www.technologyuk.net/physics/

Notes

Analiza circuitelor electrice rezistive neliniare (c.c.)

Date:

- *Topologia circuitului* (graful circuitului) - poate fi descris:
  - geometric;
  - numeric (matrice topologice/ *netlist*);
- Pentru fiecare latură liniară k:
  - tipul laturii (R,SUCU,SICI,SICU,SUCI, SIT,SIC);
  - caracteristica constitutivă
    - R_k;
    - parametrul de transfer α_k, β_k, γ_k, ρ_k;
    - semnalul de comandă (curent/tensiune, latură/noduri);
    - parametrii surselor: (e_k, j_k)

Notes

Analiza circuitelor electrice rezistive neliniare (c.c.)

- Pentru fiecare latură neliniară k:
  - tipul laturii (Rn,SUCUn,SICIn,SICUn,SUCIn);
  - caracteristica constitutivă neliniaa
    - $f_k(i)$ dacă controlul este în curent sau $g_k(u)$ dacă controlul este în tensiune;
    - dependenţele $\alpha_k(u)$, $\beta_k(i)$, $\gamma_k(u)$, $\rho_k(i)$;
    - semnalul de comandă (curent/tensiune, latură/noduri);

Se cer: $i_k(t)$, $u_k(t)$, $k = 1, 2, \ldots, L$.

Notes

Ca la c.c. - cazul elementelor liniare

1. Kirchhoff I
2. Kirchhoff II
3. Ecuaţii constitutive pentru elementele rezistive liniare:
   - laturi de tip SRC, SRT;
   - laturi de tip SIC, SIT;
   - laturi de tip SUCU, SICI, SUCI, SICU - comandate liniar.

relaţii algebrice

DAR

Notes

Elementele rezistive neliniare

Ecuaţii constitutive pentru elementele rezistive neliniare:

- rezistoare neliniare;
- surse comandate neliniar;

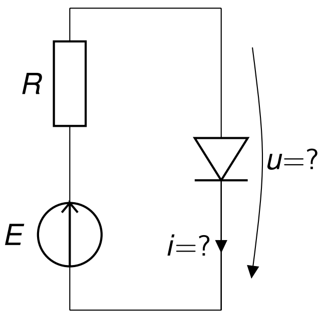
relaţii algebrice neliniare

Sistemul de rezolvat va fi un sistem algebric neliniar

Ce se întâmplă dacă surselor independente sunt variabile în timp?

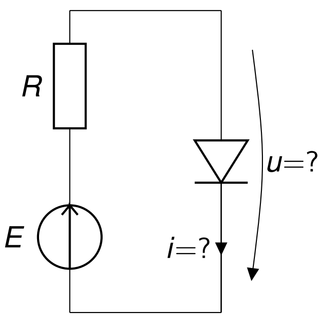
Notes

Exemplul 1



Notes

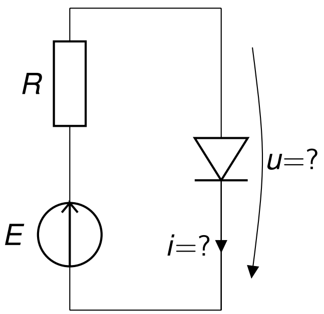
Exemplul 1



$$i = g(u)$$
$$i = \frac{E-u}{R}$$

Notes

Exemplul 1



$$i = g(u)$$
$$i = \frac{E - u}{R}$$

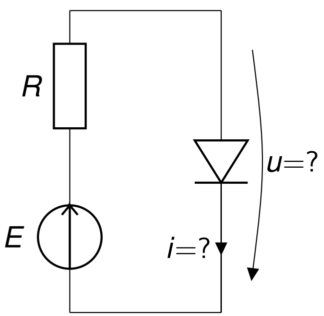
$E = 1.25\text{V}, \ R = 1.25\text{m}\Omega$

Notes

Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi

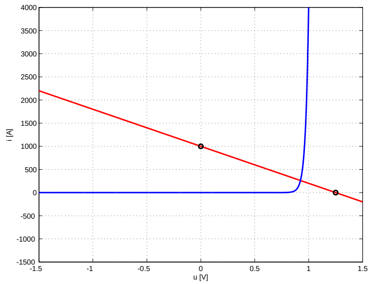
Elemente de circuit rezistive neliniare
Formularea problemei
Ecuații
Exemple

Exemplul 1



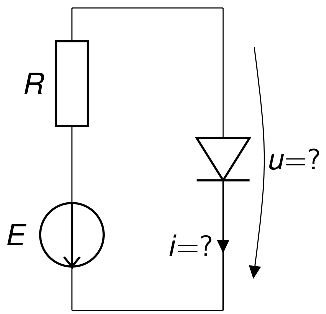
$$i = g(u)$$
$$i = \frac{E - u}{R}$$

$E = 1.25\text{V}, \ R = 1.25\text{m}\Omega$



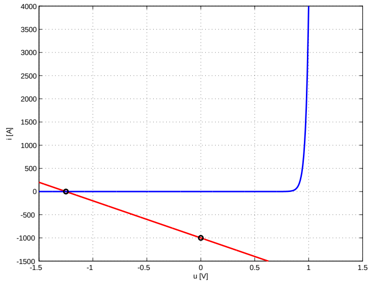
Notes

Exemplul 2



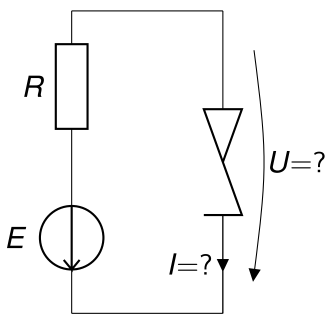
$$i = g(u)$$
$$i = \frac{-E-u}{R}$$

$E = 1.25\text{V},\ R = 1.25\text{m}\Omega$



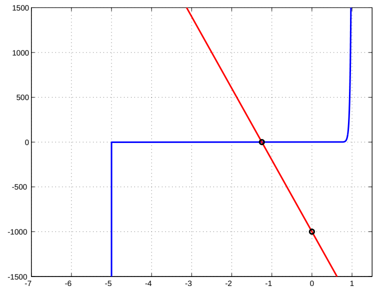
Notes

Exemplul 3 a)



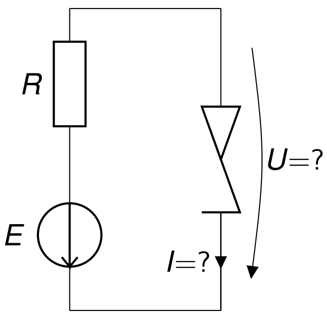
$$i = g(u)$$
$$i = \frac{-E-u}{R}$$

$E = 1.25\text{V},\ R = 1.25\text{m}\Omega$



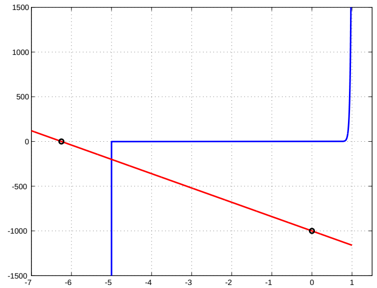
Notes

Exemplul 3 b)



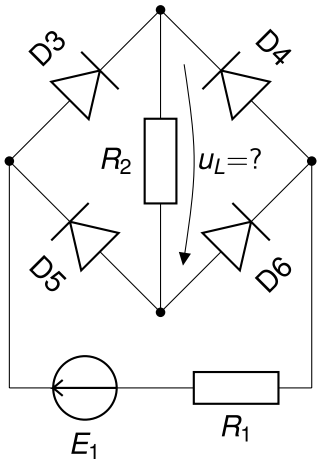
$$i = g(u)$$
$$i = \frac{-E-u}{R}$$

$E = 5 \cdot 1.25\mathrm{V},\ R = 5 \cdot 1.25\mathrm{m\Omega}$



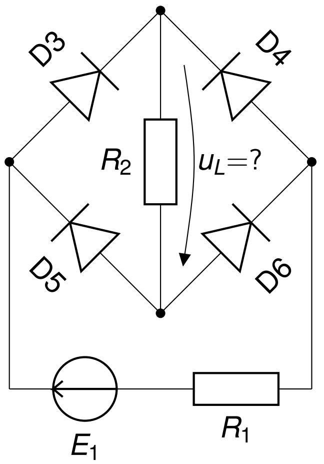
Notes

Exemplul 4



Notes

Exemplul 4

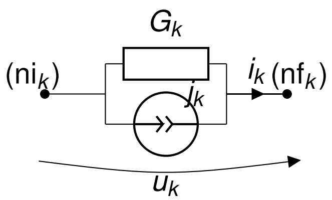


?

Notes

Laturi controlate în tensiune

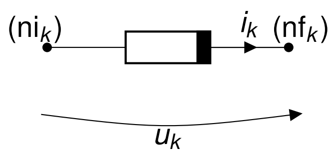
Cazul liniar (SRC)



$$i_k = G_k u_k + j_k$$

$\mathbf{i} = \mathbf{G}\mathbf{u} + \mathbf{j}$
$\mathbf{G} = \text{diag}\{G_1, G_2, \ldots, G_L\}$
$\mathbf{G} \in \mathbb{R}^{L\times L}$
$\mathbf{u}, \mathbf{j}, \mathbf{i} \in \mathbb{R}^{L\times 1}$

Cazul neliniar



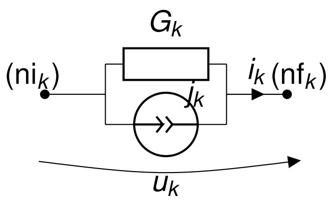
$$i_k = g_k(u_k)$$

$\mathbf{i} = \mathbf{G}(\mathbf{u})$
$\mathbf{G} = [g_1, g_2, \ldots, g_L]^T$
$\mathbf{G} : \mathbb{R}^L \to \mathbb{R}^L$
$\mathbf{u}, \mathbf{i} \in \mathbb{R}^{L\times 1}$

Notes

Laturi controlate în tensiune

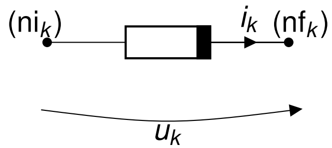
Cazul liniar (SRC)



$$i_k = G_k u_k + j_k$$

$\mathbf{i} = \mathbf{G}\mathbf{u} + \mathbf{j}$
$\mathbf{A}\mathbf{i} = \mathbf{0}$
$\mathbf{u} = \mathbf{A}^T\mathbf{V}$
$\mathbf{A}(\mathbf{G}\mathbf{A}^T\mathbf{V} + \mathbf{j}) = \mathbf{0}$

Cazul neliniar



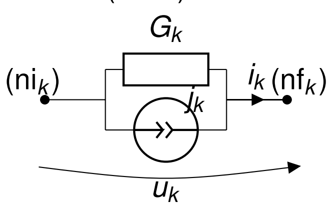
$$i_k = g_k(u_k)$$

$\mathbf{i} = \mathbf{G}(\mathbf{u})$
$\mathbf{A}\mathbf{i} = \mathbf{0}$
$\mathbf{u} = \mathbf{A}^T\mathbf{V}$
$\mathbf{A}(\mathbf{G}(\mathbf{A}^T\mathbf{V})) = \mathbf{0}$

Notes

Laturi controlate în tensiune

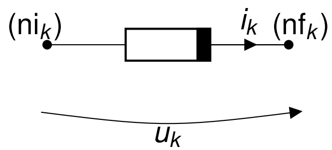
Cazul liniar (SRC)



$$i_k = G_k u_k + j_k$$

$\mathbf{i} = \mathbf{G}\mathbf{u} + \mathbf{j}$
$\mathbf{A}\mathbf{i} = \mathbf{0}$
$\mathbf{u} = \mathbf{A}^T\mathbf{V}$
$\mathbf{A}\mathbf{G}\mathbf{A}^T\mathbf{V} = -\mathbf{A}\mathbf{j}$

Cazul neliniar



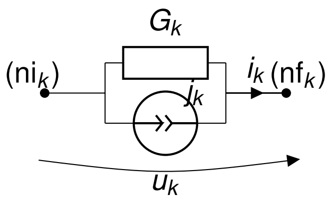
$$i_k = g_k(u_k)$$

$\mathbf{i} = \mathbf{G}(\mathbf{u})$
$\mathbf{A}\mathbf{i} = \mathbf{0}$
$\mathbf{u} = \mathbf{A}^T\mathbf{V}$
$\mathbf{A}\mathbf{G}(\mathbf{A}^T\mathbf{V}) = \mathbf{0}$

Notes

Laturi controlate în tensiune

Cazul liniar (SRC)

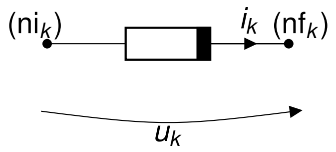


$$i_k = G_k u_k + j_k$$

$\mathbf{AGA}^T\mathbf{V} = -\mathbf{Aj}$

Sistem algebric liniar

Cazul neliniar



$$i_k = g_k(u_k)$$

$\mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V}) = \mathbf{0}$

Sistem algebric neliniar

$\mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{0}$ unde

$\mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V})$

$\mathbf{F} : \mathbb{R}^{(N-1)} \to \mathbb{R}^{(N-1)}$

Notes

Dioda semiconductoare

Modelul exponenţial (de exemplu modelul cu parametrii I_s şi u_T)

$$i(u) = I_s\left(e^{\frac{u}{u_T}} - 1\right)$$

unde $I_s \approx 10^{-6}\mathrm{A}$, $u_T \approx 25\mathrm{mV}$

Notes

Dioda semiconductoare

Modele liniare pe porţiuni (de exemplu - modelul cu parametrii u_p, G_d, G_i) definite prin cod

$$i(u) = \begin{cases} G_i u & \text{dacă} \quad u \le u_p \\ G_d(u - u_p) + G_i u_p & \text{dacă} \quad u > u_p \end{cases}$$

Notes

Dioda semiconductoare

Modele liniare pe porţiuni - definite prin tabele de valori

Exemplu - modelul lpp cu parametrii u_p, G_d, G_i

u	0	u_p	$2u_p$
i	0	$G_i u_p$	$(G_i + G_d)u_p$

Notes

Newton

Iteraţii Newton:

- Ecuaţie: $f(x) = 0$

$$x^{(m+1)} = x^{(m)} - f(x^{(m)})/f'(x^{(m)})$$

sau

$$z = f(x^{(m)})/f'(x^{(m)}) \quad (1)$$

$$x^{(m+1)} = x^{(m)} + z \quad (2)$$

- Sistem: $\mathbf{F}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}$

$$\mathbf{x}^{(m+1)} = \mathbf{x}^{(m)} - (\mathbf{F}'(\mathbf{x}^{(m)}))^{-1}\mathbf{F}(\mathbf{x}^{(m)})$$

sau

$$\mathbf{F}'(\mathbf{x}^{(m)})\mathbf{z} = \mathbf{F}(\mathbf{x}^{(m)}) \quad (3)$$

$$\mathbf{x}^{(m+1)} = \mathbf{x}^{(m)} + \mathbf{z} \quad (4)$$

Notes

Newton

În cazul circuitelor rezistive neliniare $\mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{0}$ unde

$$\mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V})$$

Iteraţii Newton:

$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{z} = -\mathbf{F}(\mathbf{V}^{(m)}) \quad (5)$$

$$\mathbf{V}^{(m+1)} = \mathbf{V}^{(m)} + \mathbf{z} \quad (6)$$

$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}) = \mathbf{AG}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V})\mathbf{A}^T$$

Notes

Newton

În cazul circuitelor rezistive neliniare $\mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{0}$ unde

$$\mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{A}\mathbf{G}(\mathbf{A}^T\mathbf{V})$$

Iteraţii Newton:

$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{z} = -\mathbf{F}(\mathbf{V}^{(m)}) \quad (5)$$

$$\mathbf{V}^{(m+1)} = \mathbf{V}^{(m)} + \mathbf{z} \quad (6)$$

$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}) = \mathbf{A}\mathbf{G}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V})\mathbf{A}^T$$

- Calculul Jacobianului necesită evaluarea conductanţelor dinamice!

Notes

Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

Newton

În cazul circuitelor rezistive neliniare $\mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{0}$ unde

$$\mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{A}\mathbf{G}(\mathbf{A}^T\mathbf{V})$$

Iteraţii Newton:

$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{z} = -\mathbf{F}(\mathbf{V}^{(m)}) \quad (5)$$

$$\mathbf{V}^{(m+1)} = \mathbf{V}^{(m)} + \mathbf{z} \quad (6)$$

$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}) = \mathbf{A}\mathbf{G}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V})\mathbf{A}^T$$

- Calculul Jacobianului necesită evaluarea conductanţelor dinamice!
- Evaluarea conductanţelor dinamice depinde de modul în care au fost definite caracteristicile neliniare.

Notes

Semnificaţia iteraţiilor Newton

Iteraţii Newton:

$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{z} = -\mathbf{F}(\mathbf{V}^{(m)}) \quad (7)$$
$$\mathbf{V}^{(m+1)} = \mathbf{V}^{(m)} + \mathbf{z} \quad (8)$$

$$\mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V})$$
$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}) = \mathbf{AG}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V})\mathbf{A}^T$$

$$\mathbf{AG}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{A}^T\mathbf{z} = -\mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)}) \quad (9)$$

Liniare (SRC)

$$\mathbf{AGA}^T\mathbf{V} = -\mathbf{Aj}$$

Notes

Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

Semnificaţia iteraţiilor Newton

Iteraţii Newton:

$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{z} = -\mathbf{F}(\mathbf{V}^{(m)}) \quad (7)$$
$$\mathbf{V}^{(m+1)} = \mathbf{V}^{(m)} + \mathbf{z} \quad (8)$$

$$\mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V})$$
$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}) = \mathbf{AG}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V})\mathbf{A}^T$$

$$\mathbf{AG}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{A}^T\mathbf{z} = -\mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)}) \quad (9)$$

Liniare (SRC)

$$\mathbf{AGA}^T\mathbf{V} = -\mathbf{Aj}$$

Semnificaţia relaţiei (9):

Notes

Semnificaţia iteraţiilor Newton

Iteraţii Newton:

$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{z} = -\mathbf{F}(\mathbf{V}^{(m)}) \quad (7)$$

$$\mathbf{V}^{(m+1)} = \mathbf{V}^{(m)} + \mathbf{z} \quad (8)$$

$$\mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V})$$

$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}) = \mathbf{AG}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V})\mathbf{A}^T$$

$$\mathbf{AG}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{A}^T\mathbf{z} = -\mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)}) \quad (9)$$

Liniare (SRC)

$$\mathbf{AGA}^T\mathbf{V} = -\mathbf{Aj}$$

Semnificaţia relaţiei (9):
La fiecare iteraţie se rezolvă un circuit liniar, poteţialele lui reprezintă corecţiile în iteraţiile Newton

Notes

Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

Semnificaţia iteraţiilor Newton

Iteraţii Newton:

$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{z} = -\mathbf{F}(\mathbf{V}^{(m)}) \quad (7)$$

$$\mathbf{V}^{(m+1)} = \mathbf{V}^{(m)} + \mathbf{z} \quad (8)$$

$$\mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V})$$

$$\mathbf{F}'(\mathbf{V}) = \mathbf{AG}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V})\mathbf{A}^T$$

$$\mathbf{AG}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{A}^T\mathbf{z} = -\mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)}) \quad (9)$$

Liniare (SRC)

$$\mathbf{AGA}^T\mathbf{V} = -\mathbf{Aj}$$

Semnificaţia relaţiei (9):
La fiecare iteraţie se rezolvă un circuit liniar, poteţialele lui reprezintă corecţiile în iteraţiile Newton

Circuit incremental

Notes

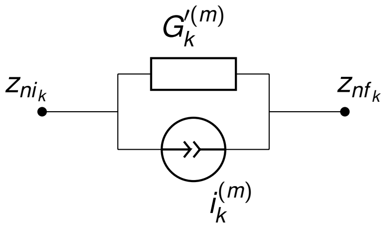
Circuite incrementale/liniarizate

Neliniar

$$\mathbf{AG}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{A}^T\mathbf{z} = -\mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)})$$

Liniar

$$\mathbf{AGA}^T\mathbf{V} = -\mathbf{Aj}$$



$$z_{ni_k} = V_{ni_k}^{(m+1)} - V_{ni_k}^{(m)} \qquad z_{nf_k} = V_{nf_k}^{(m+1)} - V_{nf_k}^{(m)}$$

Notes

Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

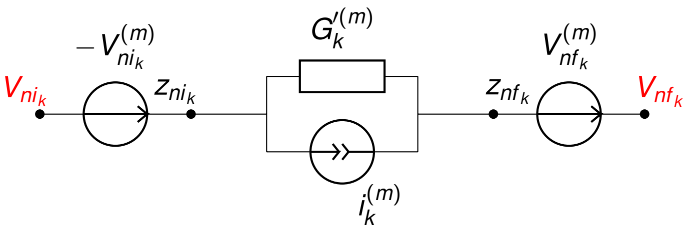
Circuite incrementale/liniarizate

Neliniar

$$\mathbf{AG}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{A}^T\mathbf{z} = -\mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)})$$

Liniar

$$\mathbf{AGA}^T\mathbf{V} = -\mathbf{Aj}$$



$$z_{ni_k} = V_{ni_k}^{(m+1)} - V_{ni_k}^{(m)} \qquad z_{nf_k} = V_{nf_k}^{(m+1)} - V_{nf_k}^{(m)}$$

Notes

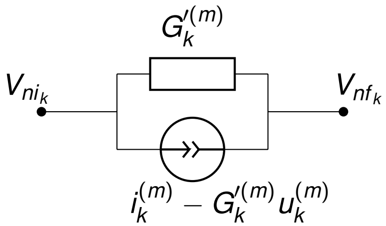
Circuite incrementale/liniarizate

Neliniar

$$\mathbf{AG}'(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)})\mathbf{A}^T\mathbf{z} = -\mathbf{AG}(\mathbf{A}^T\mathbf{V}^{(m)})$$

Liniar

$$\mathbf{AGA}^T\mathbf{V} = -\mathbf{Aj}$$



Circuit liniarizat $\rightarrow$
La fiecare iteraţie se rezolvă un circuit liniar, potenţialele lui reprezintă soluţiile noi în iteraţiile Newton

Notes

Algoritm - bazat pe asamblare de circuite

Ideea (nr. 1):
Se rezolvă o succesiune de circuite rezistive liniare (liniarizate).

it = 0
iniţializează soluţia **V**
repetă
    it = it + 1
    înlocuieşte elementele neliniare cu schemele lor *liniarizate*
    rezolvă circuitul rezistiv liniar şi calculează **Vn**
    actualizează soluţia **V** = **Vn**
    dacă it == itmax scrie mesaj de eroare
cât timp norma(**V** − **Vnou**) > toleranţa impusă şi it < itmax

Notes

Algoritm - bazat pe rezolvare de circuite

Ideea (nr. 2):
Se rezolvă o succesiune de circuite rezistive liniare (incrementale).

it = 0
iniţializează soluţia **V**
<u>repetă</u>
  it = it + 1
  înlocuieşte elementele neliniare cu schemele lor *incrementale*
  rezolvă circuitul rezistiv liniar şi calculează corecţiile **z**
  actualizează soluţia $\mathbf{V} = \mathbf{V} + \mathbf{z}$
  <u>dacă</u> it == itmax <u>scrie</u> mesaj de eroare
<u>cât timp</u> norma(**z**) > toleranţa impusă <u>şi</u> it < itmax

Notes

Algoritm - bazat pe operaţii cu matrice

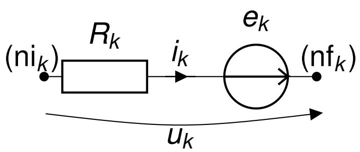
Ideea (nr. 3):
Se rezolvă o succesiune de sisteme algebricce liniare.

it = 0
asamblează matricea **A**
iniţializează soluţia **V**
<u>repetă</u>
  it = it + 1
  calculează conductanţele dinamice şi asamblează $\mathbf{G}'$
  rezolvă sistemul liniar $\mathbf{A}\mathbf{G}'\mathbf{A}^T\mathbf{z} = -\mathbf{A}\mathbf{i}$ şi calculează corecţiile **z**
  actualizează soluţia $\mathbf{V} = \mathbf{V} + \mathbf{z}$
  <u>dacă</u> it == itmax <u>scrie</u> mesaj de eroare
<u>cât timp</u> norma(**z**) > toleranţa impusă <u>şi</u> it < itmax

Notes

Cel mai simplu algoritm - pe ce ne bazăm

Primul algoritm scris pentru circuite rezistive liniare (crl) - laturi SRT



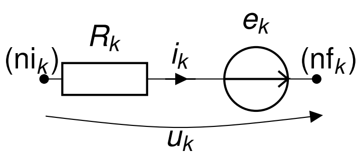

```
; declaratii date - varianta A
întreg N                   ; număr de noduri
întreg L                   ; număr de laturi
tablou întreg ni[L]        ; noduri iniţiale ale laturilor
tablou întreg nf[L]        ; noduri finale ale laturilor
tablou real R[L]           ; rezistenţe
tablou real e[L]           ; tensiuni electromotoare
```


Notes

Introducere | Metoda nodală clasică | Descrierea caracteristicilor neliniare | Algoritmi
Metoda Newton | Idei de implementare | Preprocesare | Procesare

Cel mai simplu algoritm - pe ce ne bazăm

Primul algoritm scris pentru circuite rezistive liniare (crl) - laturi SRT




```
; declaraţii date - varianta B
înregistrare circuit
         întreg N                   ; număr de noduri
         întreg L                   ; număr de laturi
         tablou întreg ni[L]        ; noduri iniţiale ale laturilor
         tablou întreg nf[L]        ; noduri finale ale laturilor
         tablou real R[L]           ; rezistenţe
         tablou real e[L]           ; tensiuni electromotoare
•
```


Notes

Cel mai simplu algoritm - pe ce ne bazăm

Să pp că avem la dispoziţie o procedură:

```
procedură nodal_crl(circuit,v)
; rezolvă un circuit rezistiv liniar cu metoda nodală
; date de intrare: structura circuit
; ieşire: valorile potenţialelor v în noduri, ultimul nod este de referinţă
...
retur
```

Obs: procedura cuprinde atât asamblarea sistemului de ecuaţii cât şi rezolvarea lui.

Notes

Cel mai simplu algoritm - ce e nou

- Admitem acum în plus, laturi rezistive neliniare, controlate în tensiune;

Vom presupune că există câte o procedură care poate, pentru orice latură neliniară, să întoarcă

- curentul prin latură pentru o tensiune dată ($i_k = g_k(u_k)$);
  Dacă curbele neliniare sunt date tabelar - aceasta presupune o interpolare).
- conductanţa dinamică a laturii, pentru o tensiune dată ($G'_k = g'_k(u_k)$).
  Dacă curbele neliniare sunt date tabelar - aceasta presupune o derivare numerică).

Notes

Cel mai simplu algoritm - etapa de preprocesare

```
funcţie citire_date ()
; declaraţii
...
citeşte circuit.N, circuit.L
pentru k = 1,circuit.L
        citeşte circuit.ni_k, circuit.nf_k
        citeşte circuit.tip_k     ; tipul poate fi "R" sau "n"
        dacă circuit.tip_k = "R"
                citeşte circuit.e_k, circuit.R_k
        •
citeşte tol                       ; toleranţă pentru procedura Newton
citeşte itmax                     ; numărul maxim de iteraţii admis
•
întoarce circuit
```


Notes

Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

Cel mai simplu algoritm - etapa de preprocesare

```
funcţie citire_date ()
; declaraţii
...
citeşte circuit.N, circuit.L
pentru k = 1,circuit.L
        citeşte circuit.ni_k, circuit.nf_k
        citeşte circuit.tip_k     ; tipul poate fi "R" sau "n"
        dacă circuit.tip_k = "R"
                citeşte circuit.e_k, circuit.R_k
        •
citeşte tol                       ; toleranţă pentru procedura Newton
citeşte itmax                     ; numărul maxim de iteraţii admis
•
întoarce circuit
```

Dar partea neliniară?

Notes

Cel mai simplu algoritm - etapa de preprocesare

Variante - pentru partea neliniară:

```
funcţie g(u)
Is = 1e-12
Vt = 0.0278
întoarce Is*(exp(u/Vt)-1)
```

```
funcţie g(u)
nd = 3 ; numărul de puncte de discontinuitate
uval = .....
ival = ....
m = cauta(uval, ival, u)
întoarce ival(m) + (ival(m+1) - ival(m))/(uval(m+1)-uval(m))*(u - uval(m))
```

```
funcţie gder(u)
Is = 1e-12
Vt = 0.0278
întoarce Is*exp(u/Vt)/Vt
```

```
funcţie gder(u)
nd = 3 ; numărul de puncte de discontinuitate
uval = .....
ival = ....
m = cauta(uval, ival, u)
întoarce (ival(m+1) - ival(m))/(uval(m+1)-uval(m))
```

Is, Vt, nd, uval, ival - pot fi citite în etapa de preprocesare (şi pot fi diferite pentru diferitele elemente neliniare).

Notes

Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

Algoritm - v2

```
procedură solve_crnl_v2(circuit,tol,itmax,V)
circuit - structură - parametru de intrare
tol, itmax - parametri de intrare, specifici procedurii Newton
V - vector - parametru de ieşire
....
iniţializare
V = 0 ; vector de dimensiune N
err = 1
itk = 0
cât timp err > tol şi itk < itmax
      kit = kit + 1
      pentru k = 1:L
            dacă circuit.tip(k) == "n"
                  tens = V(circuit.ni(k)) - V(circuit.nf(k))
                  cond_din = gder(tens)
                  crt = g(tens)
                  circuit.R(k) = 1/cond_din
                  circuit.e(k) = circuit.R(k)*crt - tens
            •
      •
      nodal_crl(circuit,Vn)
      err = norma(Vn − V)
      V = Vn
•
retur
```

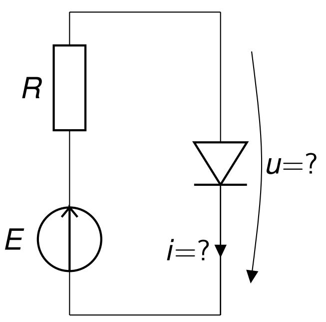

Notes

Algoritm - v1

```
procedură solve_crnl_v1(circuit,tol,itmax,V)
circuit - structură - parametru de intrare
tol, itmax - parametri de intrare, specifici procedurii Newton
V - vector - parametru de ieşire
....
iniţializare
V = 0 ; vector de dimensiune N
err = 1
itk = 0
cât timp err > tol şi itk < itmax
        kit = kit + 1
        pentru k = 1:L
                dacă circuit.tip(k) == "n"
                        tens = V(circuit.ni(k)) - V(circuit.nf(k))
                        cond_din = gder(tens)
                        crt = g(tens)
                        circuit.R(k) = 1/cond_din
                        circuit.e(k) = circuit.R(k)*crt
                •
        •
        nodal_crl(circuit,z)
        err = norma(z)
        V = V + z
•
retur
```

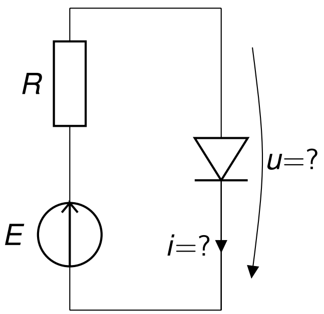

Notes

Exemplul 1 - rezultate



Notes

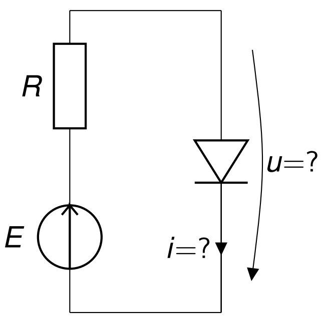
Exemplul 1 - rezultate



$$i = g(u)$$
$$i = \frac{E-u}{R}$$

Notes

Exemplul 1 - rezultate

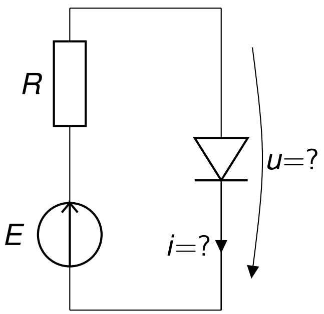


$$i = g(u)$$
$$i = \frac{E-u}{R}$$

$$E = 1.25\mathrm{V}, \; R = 1.25\mathrm{m}\Omega$$

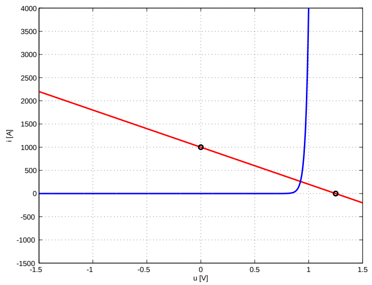
Notes

Exemplul 1 - rezultate



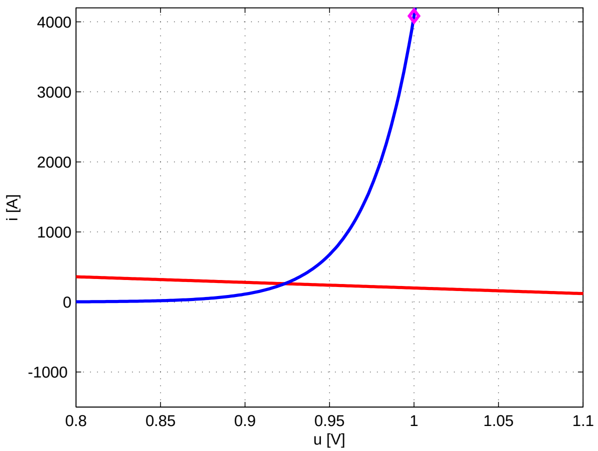
$$i = g(u)$$
$$i = \frac{E - u}{R}$$

$E = 1.25\mathrm{V},\ R = 1.25\mathrm{m}\Omega$



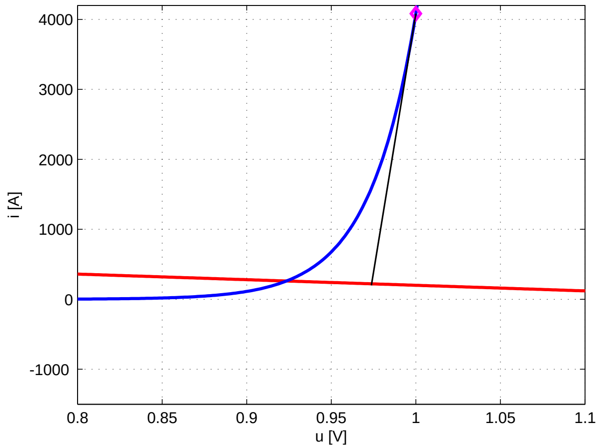
Notes

Exemplul 1 - rezultate



Notes

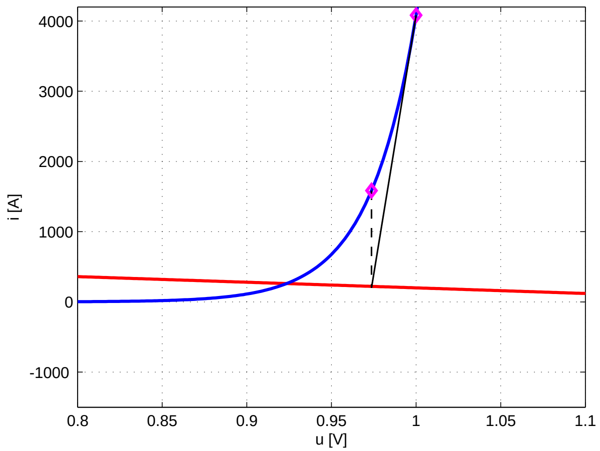
Exemplul 1 - rezultate



Notes

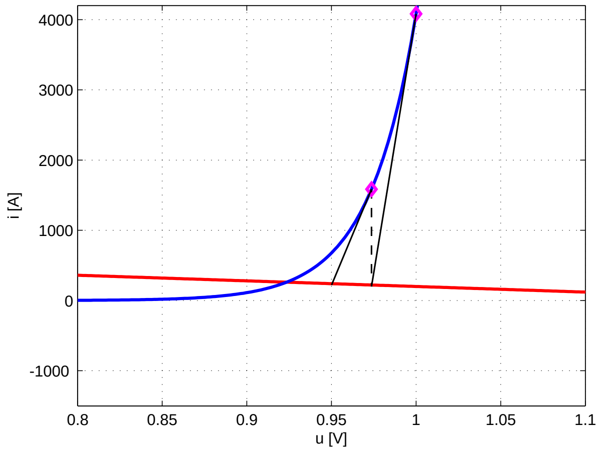
Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

Exemplul 1 - rezultate



Notes

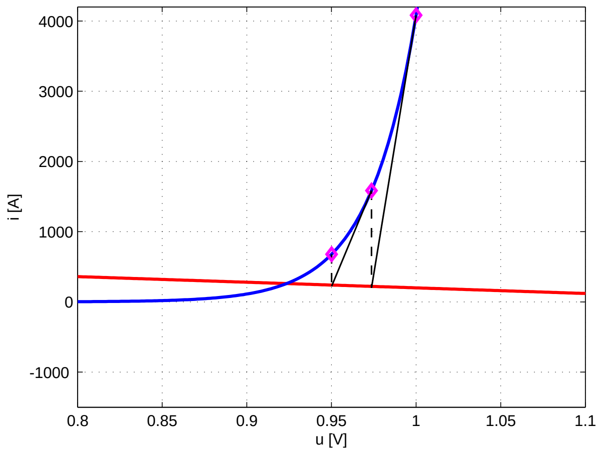
Exemplul 1 - rezultate



Notes

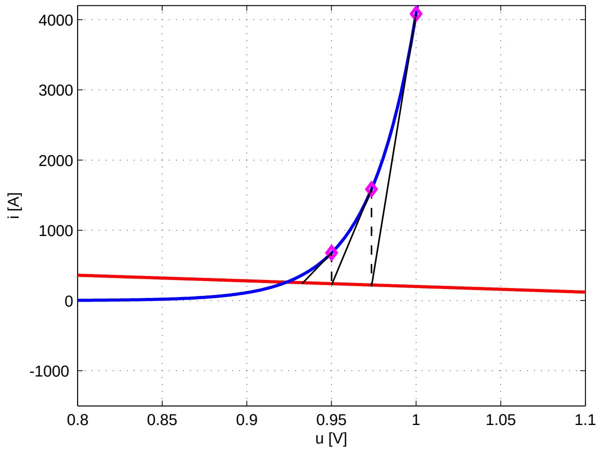
Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

Exemplul 1 - rezultate



Notes

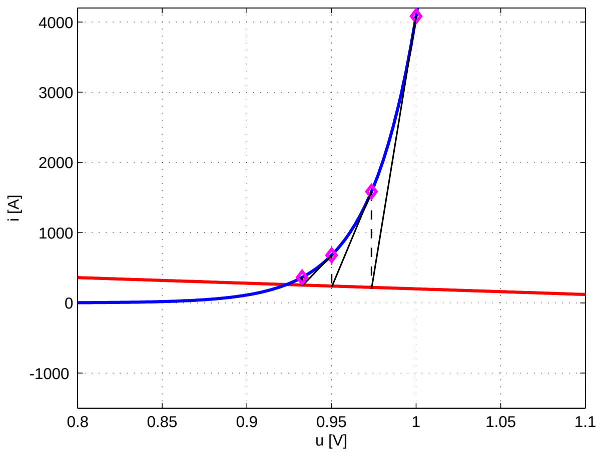
Exemplul 1 - rezultate



Notes

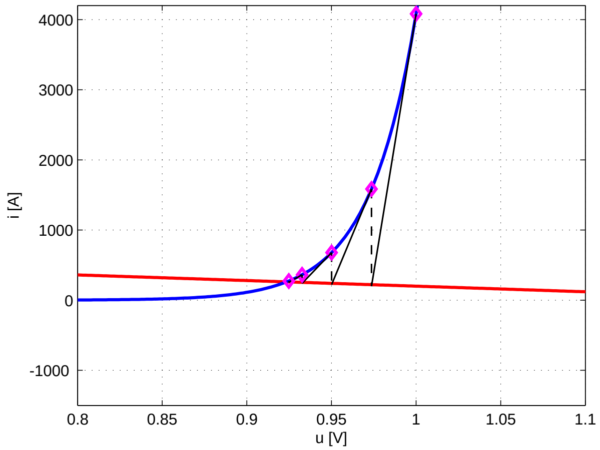
Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

Exemplul 1 - rezultate



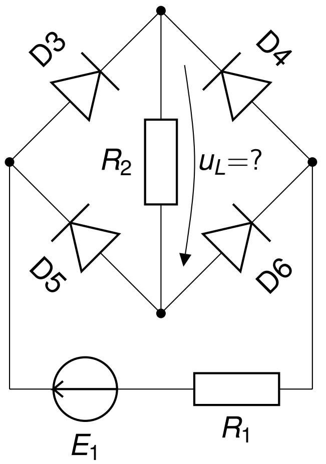
Notes

Exemplul 1 - rezultate



Notes

Exemplul 4 - rezultate

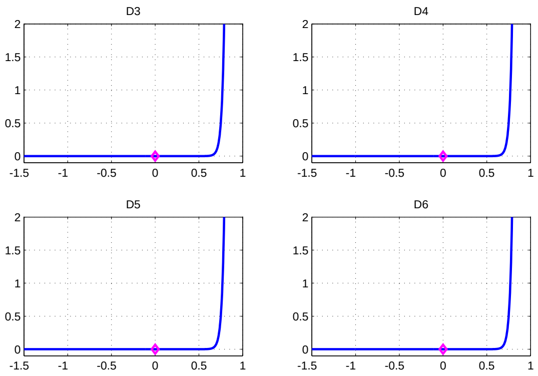


Notes

Exemplul 4 - rezultate

$E_1 = 2V$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, 13 iteraţii pentru tol = 0.01

Numai iniţializarea şi ultimele patru sunt ilustrate.



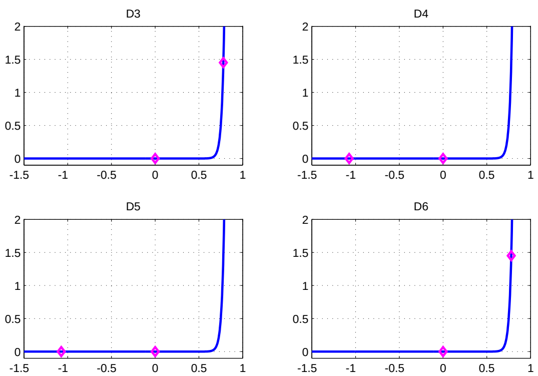
Notes

Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

Exemplul 4 - rezultate

$E_1 = 2V$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, 13 iteraţii pentru tol = 0.01

Numai iniţializarea şi ultimele patru sunt ilustrate.



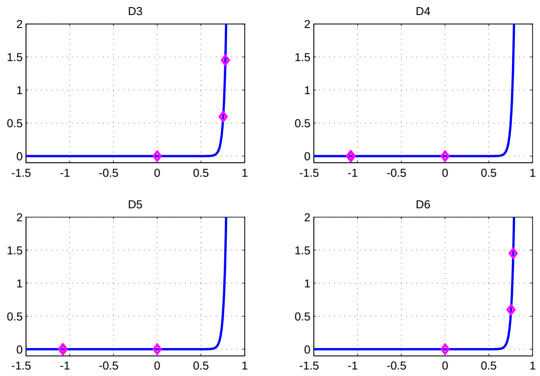
40/51
Gabriela Ciuprina
Analiza circuitelor electrice rezistive neliniare

Notes

Exemplul 4 - rezultate

$E_1 = 2V$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, 13 iteraţii pentru tol = 0.01

Numai iniţializarea şi ultimele patru sunt ilustrate.



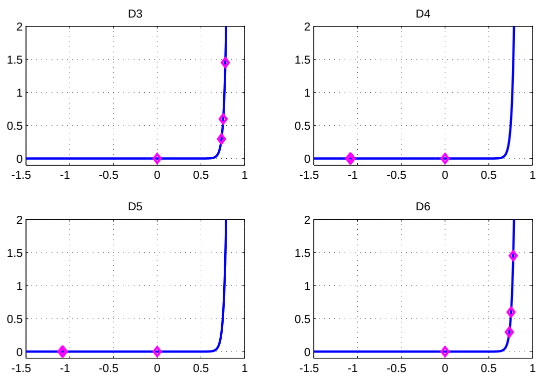
Notes

Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

Exemplul 4 - rezultate

$E_1 = 2V$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, 13 iteraţii pentru tol = 0.01

Numai iniţializarea şi ultimele patru sunt ilustrate.



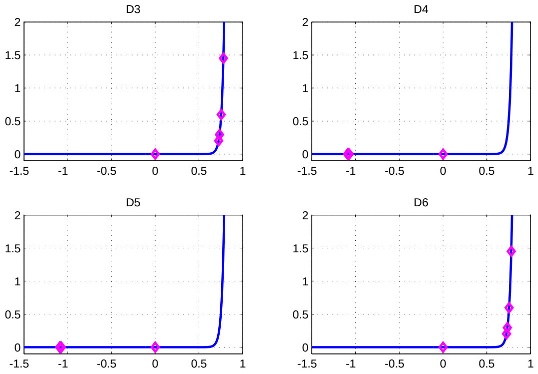
40/51
Gabriela Ciuprina
Analiza circuitelor electrice rezistive neliniare

Notes

Exemplul 4 - rezultate

$E_1 = 2V$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, 13 iteraţii pentru tol = 0.01

Numai iniţializarea şi ultimele patru sunt ilustrate.



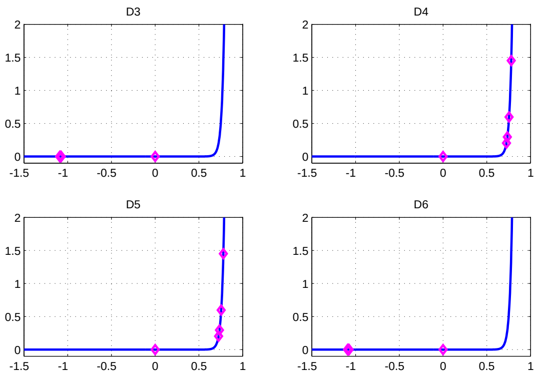
Notes

Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

Exemplul 4 - rezultate

$E_1 = -2V$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, 13 iteraţii pentru tol = 0.01

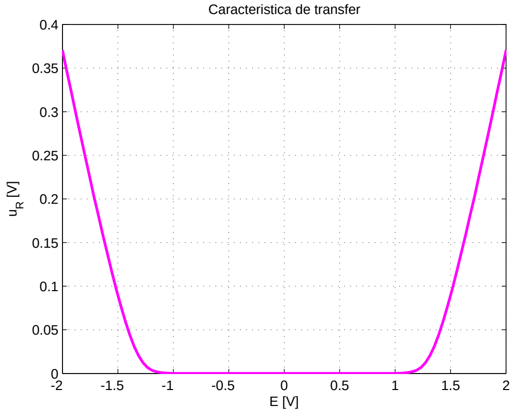
Numai iniţializarea şi ultimele patru sunt ilustrate.



Notes

Exemplul 4 - rezultate

$E_1 \in [-2, 2]\mathrm{V}$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $u_{R2} = ?$

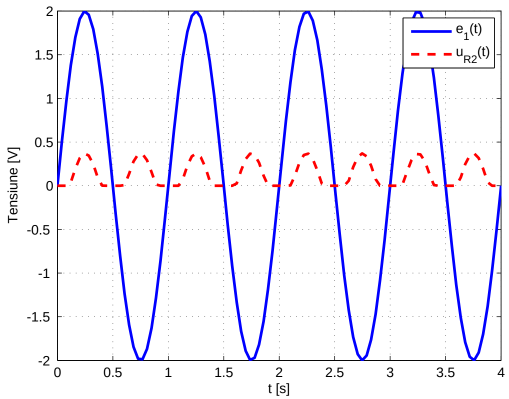


Notes

Exemplul 4 - rezultate

Sursa variabilă în timp? *Timpul are un caracter convențional. (Sistemul este algebric!)*

$e_1(t) = 2\sin(2\pi t)\mathrm{V}$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $u_{R2}(t) = ?$



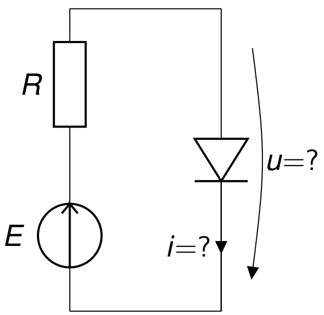
Notes

Concluzii

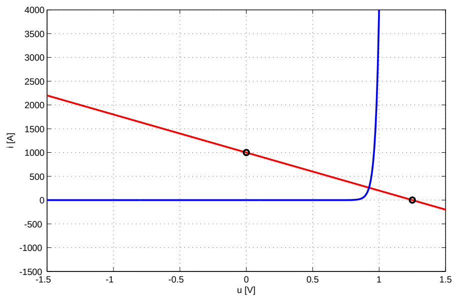
- Analiza circuitelor rezistive neliniare se reduce la o succesiune de rezolvări de sisteme algebrice liniare (care pot fi privite ca rezolvări de circuite rezistive liniare - incrementale sau liniarizate).
- Convergenţa procedurii depinde de iniţializare.
- Numărul de iteraţii depinde de iniţializare şi de eroarea impusă soluţiei.

Notes

Cazul caracteristicilor lpp

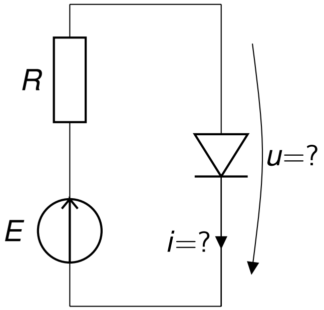


Aproximaţia lpp a caracteristicii diodei semiconductoare.

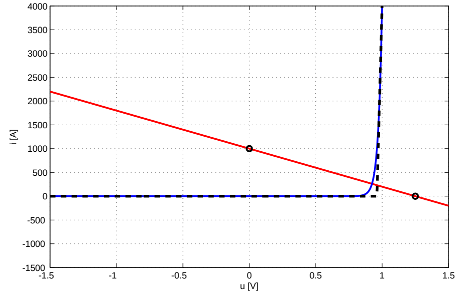


Notes

Cazul caracteristicilor lpp



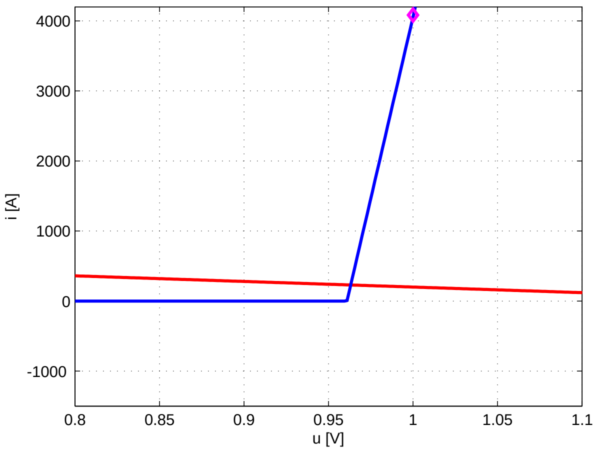
Aproximaţia lpp a caracteristicii diodei semiconductoare.



Notes

Cazul caracteristicilor lpp

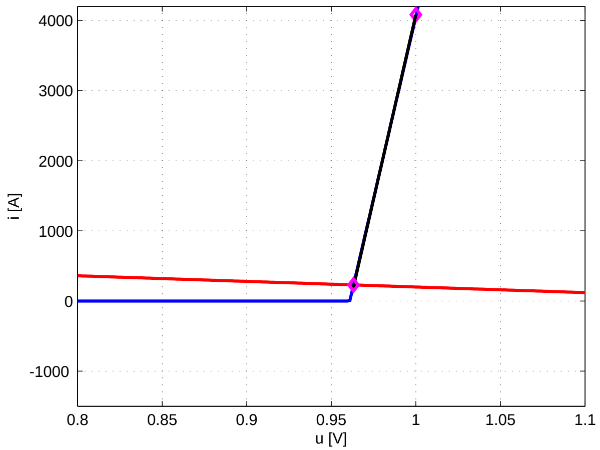
Iteraţii Newton - iniţializarea.



Notes

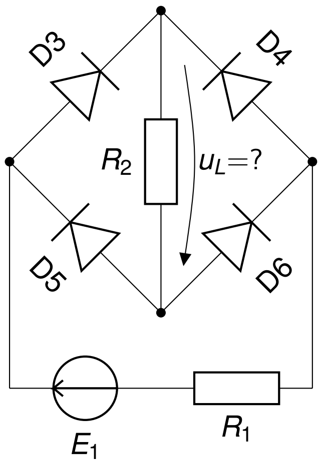
Cazul caracteristicilor lpp

Iteraţii Newton - iteraţia 1.



Notes

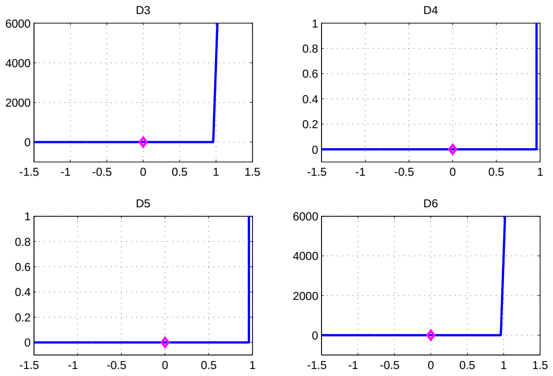
Cazul caracteristicilor lpp



Notes

Cazul caracteristicilor lpp

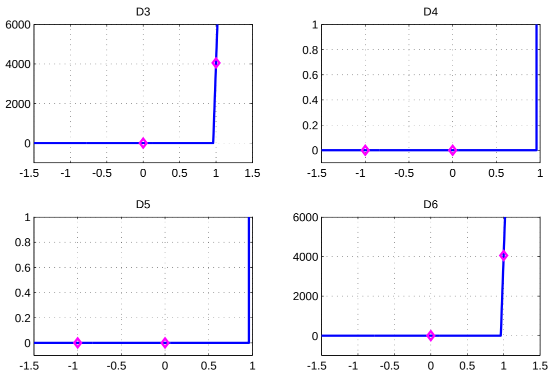
Iteraţii Newton - iniţializarea.



Notes

Cazul caracteristicilor lpp

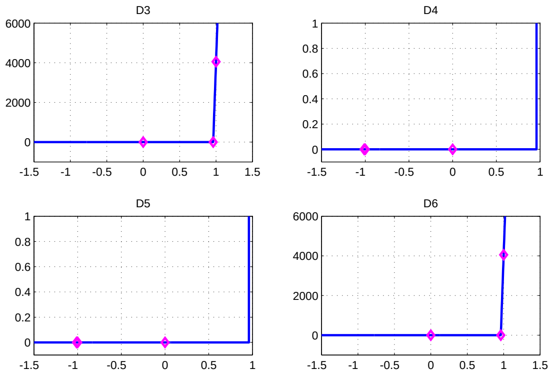
Iteraţii Newton - iteraţia 1.



Notes

Cazul caracteristicilor lpp

Iteraţii Newton - iteraţia 2.

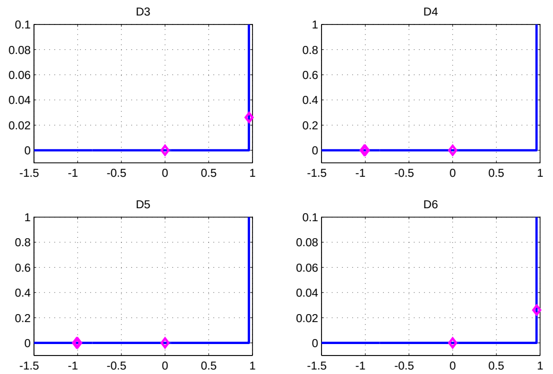


Notes

Introducere
Metoda nodală clasică
Descrierea caracteristicilor neliniare
Algoritmi
Metoda Newton
Idei de implementare
Preprocesare
Procesare

Cazul caracteristicilor lpp

Iteraţii Newton - iteraţia 2 - *zoom in*.



Notes

Cazul caracteristicilor lpp

- Eroarea impusă nu influenţează prea mult numărul de iteraţii deoarece după determinarea corectă a segmentului în care se află PSF, eroarea impusă este satisfăcută la următoarea iteraţie.
- Dacă iniţializarea corespunde combinaţiei corecte de segmente, atunci se va face exact o singură iteraţie.
- Numărul maxim de iteraţii este egal cu numărul maxim de combinaţii de segmente.
- Există o variantă a metodei (cunoscută sub numele de metoda Katzenelson) în care la fiecare iteraţie se modifică un singur segment, cel corespunzător variaţiei maxime. Avantaj - convergenţa garantată.

Notes

Lectură

Obligatoriu:

Ioan98 D. Ioan et al., *Metode numerice in ingineria electrica*, Ed. Matrix Rom, Bucuresti, 1998. (Capitolul 17)

Cartea se găseşte la biblioteca UPB, puteţi verifica accesând catalogul http://www.library.pub.ro/.

Facultativ:

Chua75 Leon Chua, Pen-Min Lin, *Computer-Aided Analysis of Electronic Circuits*, Prentice-Hall,1975. (Capitolele 5 si 7)

Notes